



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11053549 A**(43) Date of publication of application: **26.02.99**

(51) Int. Cl.

G06T 7/00
G01B 11/00
G01C 3/06
G01C 11/06
H04N 7/18

(21) Application number: **09207951**(71) Applicant: **SONY CORP**(22) Date of filing: **01.08.97**(72) Inventor: **ASHIGAHARA TAKAYUKI**

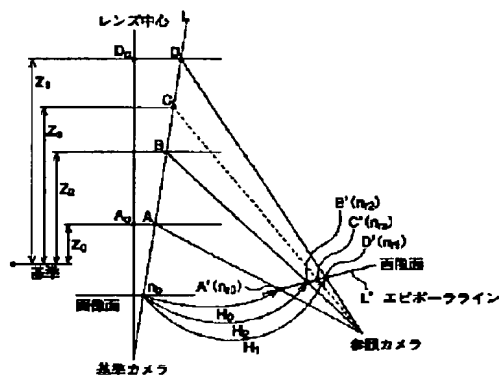
**(54) DEVICE AND METHOD FOR PROCESSING
 IMAGE AND TRANSMISSION MEDIUM**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To exactly measure the distance to an object point in a stereoscopic method.

SOLUTION: Correspondent points nr_0 , nr_2 , and nr_1 corresponding to points A, B and D on line-of-sight L at a point nb on the image plane of a reference camera are found by projective transformation. By retrieving the surface of an epipolar line L' formed by connecting these correspondent points, a correspondent point nr_5 corresponding to an object point C is found. Further, a distance Z_5 from a reference point to the object point C is found from distances Z_0 , Z_2 and Z_1 from the reference point to the points A, B and D and the positions of the correspondent points nr_0 , nr_2 and nr_1 while using a complex ratio.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-53549

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 6 T 7/00

G 0 6 F 15/62

4 1 5

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/00

H

G 0 1 C 3/06

G 0 1 C 3/06

V

11/06

11/06

H 0 4 N 7/18

H 0 4 N 7/18

K

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平9-207951

(22) 出願日

平成9年(1997) 8月1日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 芦ヶ原 隆之

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

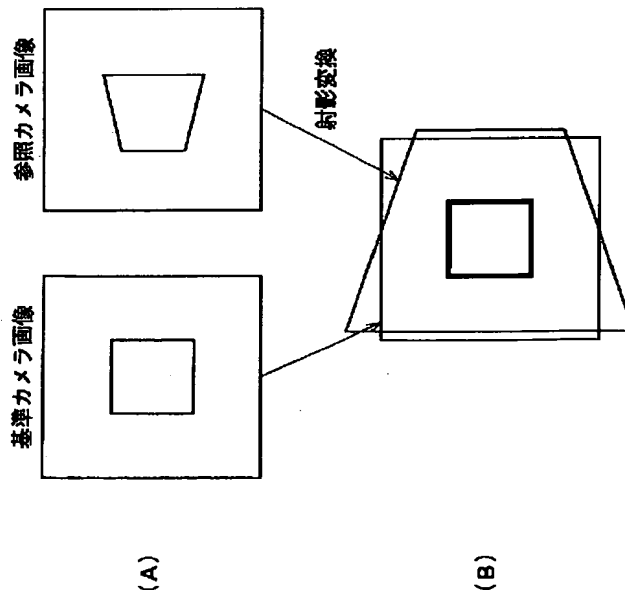
(74) 代理人 弁理士 稲本 義雄

(54) 【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法、および、伝送媒体

(57) 【要約】

【課題】 ステレオ法において、対象点までの距離を正確に測定する。

【解決手段】 基準カメラの画像面上の点 n_0 の視線 L 上の点 A , B , D に対応する対応点 n_{r0} , n_{r2} , n_{r1} を射影変換によって求める。そして、これらの対応点を結ぶことにより形成されるエピポーラライン L' 上を検索することにより、対象点 C に対応する対応点 n_{r3} を求める。更に、基準点から点 A , B , D までの距離 Z_0 , Z_2 , Z_1 と対応点 n_{r0} , n_{r2} , n_{r1} の位置とから複比を用いて、基準点から対象点 C までの距離 Z_3 を求める。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の撮像装置から入力される基準画像と、第 2 の撮像装置から入力される参照画像を元にして、対象点までの距離を画像処理により算出する画像処理装置において、

前記第 1 の画像処理装置から出力される基準画像を入力する第 1 の入力手段と、

前記第 2 の画像処理装置から出力される参照画像を入力する第 2 の入力手段と、

前記第 1 の入力手段から入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第 1 乃至第 3 のポイントまでのそれぞれの距離が入力される第 3 の入力手段と、前記第 2 の入力手段から入力された参照画像上において、前記第 1 乃至第 3 のポイントに対応する第 1 乃至第 3 の対応点を算出する第 1 の算出手段と、

前記視線上に存在する、前記対象点に対応する前記参照画像上の第 4 の対応点を算出する第 2 の算出手段と、

前記第 1 乃至第 4 の対応点と、前記第 3 の入力手段から入力された第 1 乃至第 3 のポイントまでの距離を元にして、複比を演算することにより、前記対象点までの距離を算出する第 3 の算出手段とを備えることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】 前記第 2 の算出手段は、前記第 1 乃至第 3 の対応点を結ぶことにより形成されるエピポーララインのライン上を検索することにより、前記第 4 の対応点を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】 第 1 の撮像装置から入力される基準画像と、第 2 の撮像装置から入力される参照画像を元にして、対象点までの距離を画像処理により算出する画像処理方法において、

前記第 1 の画像処理装置から出力される基準画像を入力する第 1 の入力ステップと、

前記第 2 の画像処理装置から出力される参照画像を入力する第 2 の入力ステップと、

前記第 1 の入力ステップから入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第 1 乃至第 3 のポイントまでのそれぞれの距離が入力される第 3 の入力ステップと、

前記第 2 の入力ステップから入力された参照画像上において、前記第 1 乃至第 3 のポイントに対応する第 1 乃至第 3 の対応点を算出する第 1 の算出ステップと、前記視線上に存在する、前記対象点に対応する前記参照画像上の第 4 の対応点を算出する第 2 の算出ステップと、

前記第 1 乃至第 4 の対応点と、前記第 3 の入力ステップから入力された第 1 乃至第 3 のポイントまでの距離を元にして、複比を演算することにより、前記対象点までの距離を算出する第 3 の算出ステップとを備えることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 4】 第 1 の撮像装置から入力される基準画像と、第 2 の撮像装置から入力される参照画像を元にして、対象点までの距離を画像処理により算出する画像処理装置で用いられるコンピュータプログラムを伝送する伝送媒体において、

前記第 1 の画像処理装置から出力される基準画像を入力する第 1 の入力ステップと、

前記第 2 の画像処理装置から出力される参照画像を入力する第 2 の入力ステップと、

10 前記第 1 の入力ステップから入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第 1 乃至第 3 のポイントまでのそれぞれの距離が入力される第 3 の入力ステップと、

前記第 2 の入力ステップから入力された参照画像上において、前記第 1 乃至第 3 のポイントに対応する第 1 乃至第 3 の対応点を算出する第 1 の算出ステップと、

前記視線上に存在する、前記対象点に対応する前記参照画像上の第 4 の対応点を算出する第 2 の算出ステップと、

20 前記第 1 乃至第 4 の対応点と、前記第 3 の入力ステップから入力された第 1 乃至第 3 のポイントまでの距離を元にして、複比を演算することにより、前記対象点までの距離を算出する第 3 の算出ステップとを備えるコンピュータプログラムを伝送する伝送媒体。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の伝送媒体から伝送を受けたプログラムを記憶し、そのプログラムを用いて画像を処理する画像処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

30 【発明の属する技術分野】本発明は、画像処理装置、画像処理方法、および、伝送媒体に関し、特に、ステレオ法に基づいて距離測定を行う画像処理装置、画像処理方法、および、伝送媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】複数のカメラを用いて、対象までの距離を測定する方法としては、ステレオ法が知られている。ステレオ法は、複数の視点から撮影した画像を用いて、シーン内の各点までの距離を三角測量の原理により測定する方法である。

40 【0003】図 12 は、ステレオ法の概略を説明する図である。この図に示すように、ステレオ法では、基準カメラと参照カメラの 2 台のカメラによって 3 次元シーンを観察し、測定しようとする対象の 3 次元空間における位置（基準点からの距離）を求める。

【0004】即ち、図 12 に示す例では、3 次元シーン中の対象点 P が基準カメラによって観察される観察点 n_b と、参照カメラによって観察される観察点 n_r とを求める。そして、これらの観察点 n_b 、 n_r から対象点 P の 3 次元空間内の位置を求めることができる。

50 【0005】観察点 n_b に対応する観察点 n_r を検出する

方法としては、エピポーライン (Epipolar line) を用いた方法がある。即ち、図 12 に示すように、参照カメラの観察点 n_1 は、両カメラの光学中心 (光軸) と基準カメラの観察点 n_2 によって決まる平面と、参照カメラの画像面が交わる直線上に存在する。この直線をエピポーラインと呼ぶ。基準カメラと参照カメラの位置関係が既知であれば、基準カメラの各観察点毎に参照カメラの画像面上のエピポーラインを求めることができるので、このエピポーライン上で対応点検索を行うことにより、所望の対応点を検出することができる。

【0006】一般的には、内部パラメータが等しい2台のカメラを、お互いの光軸が平行でかつ画像面が同一面上に存在するように配置すると、各カメラがラスタ走査する際の走査線とエピポーラインとを一致させることができるので、結果として、アドレス変換などに必要な計算を削減することが可能となる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、前述のように、基準カメラと参照カメラを高精度に位置決めして配置することは極めて困難であるので、精度よく測定を行うことが出来ないという課題があった。

【0008】また、基準カメラと参照カメラの撮影画像の双方に含まれている範囲 (どちらのカメラからでも観察できる範囲) を広くするために輻輳をつけた場合 (2台のカメラの光軸が平行ではない場合)、エピポーラインと走査線とが一致しなくなるので、カメラの内部パラメータと外部パラメータを正確に求めなければならず、精度の高い測定が困難であるという課題があった。

【0009】更に、基準カメラと参照カメラの内部パラメータが相互に異なっている場合においても、エピポーラインと走査線が一致しなくなるため、上述の場合と同様にカメラの内部パラメータと外部パラメータとを正確に求めなければならないという課題があった。

【0010】なお、内部パラメータと外部パラメータには以下のようなものである。

【0011】内部パラメータ

f (focal length)、 C_x , C_y (center of image plane)、 s_x (digitalscale factor)

【0012】外部パラメータ

R_x , R_y , R_z (rotational angle)、 T_x , T_y , T_z (translational components)

【0013】従って、内部パラメータは個々のカメラ固有の特性を示しており、また、外部パラメータは、3次元空間内における2台のカメラの位置を示しているといえることができる。

【0014】ところで、これらの内部パラメータを正確に求める方法としては、Tsaiの方法 (「R. Y. Tsai, A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off-the shelf TV cameras and lenses, IEEE journal of Robotics a

nd Automation, Vol. RA-3, no. 4, pp. 323-344, Aug. 1987」参照) が有名である。

【0015】しかしながら、この方法を実際に実行するためには、参照点が正確な位置に描かれた校正パターンや参照点を正確に位置決めするための機構が必要になるため、正確な測定を行うためには装置が煩雑となるという課題があった。

【0016】本発明は、以上のような状況に鑑みてなされたものであり、ステレオ法により対象点の位置を測定する場合に、簡便な装置により正確な測定を行うことを可能とするものである。

【0017】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の画像処理装置は、第1の画像処理装置から出力される基準画像を入力する第1の入力手段と、第2の画像処理装置から出力される参照画像を入力する第2の入力手段と、第1の入力手段から入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第1乃至第3のポイントまでのそれぞれの距離が入力される第3の入力手段と、第2の入力手段から入力された参照画像上において、第1乃至第3のポイントに対応する第1乃至第3の対応点を算出する第1の算出手段と、視線上に存在する、対象点に対応する参照画像上の第4の対応点を算出する第2の算出手段と、第1乃至第4の対応点と、第3の入力手段から入力された第1乃至第3のポイントまでの距離を元にして、複比を演算することにより、対象点までの距離を算出する第3の算出手段とを備えることを特徴とする。

【0018】請求項3に記載の画像処理方法は、第1の画像処理装置から出力される基準画像を入力する第1の入力ステップと、第2の画像処理装置から出力される参照画像を入力する第2の入力ステップと、第1の入力ステップから入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第1乃至第3のポイントまでのそれぞれの距離が入力される第3の入力ステップと、第2の入力ステップから入力された参照画像上において、第1乃至第3のポイントに対応する第1乃至第3の対応点を算出する第1の算出ステップと、視線上に存在する、対象点に対応する参照画像上の第4の対応点を算出する第2の算出ステップと、第1乃至第4の対応点と、第3の入力ステップから入力された第1乃至第3のポイントまでの距離を元にして、複比を演算することにより、対象点までの距離を算出する第3の算出ステップとを備えることを特徴とする。

【0019】請求項4に記載の伝送媒体は、第1の画像処理装置から出力される基準画像を入力する第1の入力ステップと、第2の画像処理装置から出力される参照画像を入力する第2の入力ステップと、第1の入力ステップから入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第1乃至第3のポイントまでのそれぞれの距離が入力される第3の入力ステップと、第2の入力ス

テップから入力された参照画像上において、第1乃至第3のポイントに対応する第1乃至第3の対応点を算出する第1の算出ステップと、視線上に存在する、対象点に対応する参照画像上の第4の対応点を算出する第2の算出ステップと、第1乃至第4の対応点と、第3の入力ステップから入力された第1乃至第3のポイントまでの距離を元にして、複比を演算することにより、対象点までの距離を算出する第3の算出ステップとを備えるコンピュータプログラムを伝送する。

【0020】請求項1に記載の画像処理装置、請求項3に記載の画像処理方法、および、請求項4に記載の伝送媒体においては、第1の画像処理装置から出力される基準画像を入力し、第2の画像処理装置から出力される参照画像を入力し、入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第1乃至第3のポイントまでのそれぞれの距離が入力され、入力された参照画像上において、第1乃至第3のポイントに対応する第1乃至第3の対応点を算出し、視線上に存在する対象点に対応する参照画像上の第4の対応点を算出し、第1乃至第4の対応点と、第1乃至第3のポイントまでの距離を元にして、複比により対象点までの距離を算出する。例えば、第1の画像処理装置から出力される基準画像を入力し、第2の画像処理装置から出力される参照画像を入力し、入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第1乃至第3のポイントまでのそれぞれの距離がキーボードなどから入力され、入力された参照画像上において、第1乃至第3のポイントに対応する第1乃至第3の対応点が射影変換により算出され、視線上に存在する対象点に対応する参照画像上の第4の対応点をエピポーラライン上を検索することにより算出し、第1乃至第4の対応点と、第1乃至第3のポイントまでの距離を元にして、複比により対象点までの距離を算出する。

【0021】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の実施の形態の構成例について説明する図である。この図において、ワークステーション10は、CPU10a（第1の算出手段、第2の算出手段、第3の算出手段）、ROM10b、RAM10c、および、IF10d（第1の入力手段、第2の入力手段）により構成されており、基準カメラ30および参照カメラ31から出力された画像信号に

$$n_r = H \cdot n_b$$

【0031】ここでは、射影幾何における斉次座標系を用いているので、画像平面上の2次元の点は (x, y, w) と表され、画像面上の直交座標系では $(x/w, y/w)$ と表される。従って、式(1)は、以下のように ※

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & m_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

【0033】また、画像座標では、射影変換は以下のよ ☆ ☆うに表すことができる。

* 対して所定の処理を施すようになされている。

【0022】CPU10aは、装置の各部を制御するとともに、プログラムに応じて所定の演算を行うようになされている。ROM10bは、CPU10aが実行するプログラムや各種データなどを格納している。RAM10cは、CPU10aが各種処理を実行する際の演算途中のデータやプログラムなどを格納するようになされている。IF10dは、外部装置との間でデータを授受する場合において、データの表現形式を適宜変換するようになされている。

【0023】CRTモニタ20は、ワークステーション10から出力された画像を表示出力するようになされている。HDD21は、基準カメラ30および参照カメラ31から出力された画像信号や各種プログラム等を記録または再生するようになされている。

【0024】基準カメラ30と参照カメラ31は、被写体の光画像を対応する電気信号（画像信号）に変換して出力するようになされている。

【0025】なお、複数の参照カメラを設け、その中から所望の画像のみを選択して用いるようにしてもよい。

【0026】以下では、以上の実施の形態の動作について説明する前に、本実施の形態の動作原理について説明する。

【0027】図2は、本発明の動作原理を説明する図である。

【0028】本発明では、射影変換を用いて、参照画像を基準画像に変換した後、双方の画像の対応する位置から対象点までの距離を算出するようになされている。

【0029】即ち、3次元空間に置かれた平面を2台のカメラ（ステレオペアカメラ）で観察した場合、対応点のカメラ座標は射影変換により相互に変換可能である

（「金谷，“画像理解，”森北出版，1990」参照）。つまり、図2に示すように、3次元空間に置かれた平面上の点Pが基準カメラ30の画像（以下、基準画像と適宜略記する）で n_b に観察され、参照カメラ31の画像（以下、参照画像と適宜略記する）で n_r に観察されたとすると、 n_b から n_r への変換を 3×3 の射影変換行列をHとすると、以下のように示すことができる。

【0030】

【数1】

(1)

※表すことができる。

【0032】

【数2】

(2)



(5)

特開平11-53549

7

8

【0034】

【数3】

$$x'_i = \frac{m_0 x_i + m_1 y_i + m_2}{m_6 x_i + m_7 y_i + m_8}$$

(3)

【0035】

【数4】

$$y'_i = \frac{m_3 x_i + m_4 y_i + m_5}{m_6 x_i + m_7 y_i + m_8}$$

(4)

【0036】ここで、 i は、画像を構成する画素の番号を示しており、例えば、1画面が 640×480 個の画素から構成されている画像では、 i は0乃至 640×480 の値を取る。

【0037】射影変換行列 H は、 m_0 乃至 m_8 の合計9個のパラメータより構成されている。しかしながら、スケール因子に自由度が残るので、自由度は8となる。また、射影変換行列 H は、カメラの内部パラメータ、外部パラメータ、および、平面の方程式を暗黙的に含んだ行列である。

【0038】図3は、射影変換を施す対象となるテキストとカメラとの関係を示す図である。この図においては、基準点（所定の位置に選んでよい）からある距離 Z だけ離れた位置に設置した1枚の平面を、相互に位置関係が固定された複数のカメラにより撮像するようになっている。なお、平面のカメラ側の面には、所定のテキストが形成されている。

【0039】中央のカメラを基準カメラ、その他を参照カメラとし、参照カメラのうちの何れか1つの画像と、基準カメラの画像とを組み合わせることでステレオペアを形成する。

【0040】このとき、基準カメラの画像（基準画像） *

$$E = \sum_i (I'(x'_i, y'_i) - I(x_i, y_i))^2 = \sum_i e_i^2 \quad (5)$$

【0044】この E を最小化する射影変換行列を求めれば、画像の合わせ込み、即ち、基準画像と参照画像との関係式を導出することができる。

【0045】即ち、画像全体の輝度誤差 E は、未知パラメータ $\{m_0, m_1, \dots, m_8\}$ による e_i の偏微分を用いて導出する。前述したように、射影行列 H の自由度 ※

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_k} = \frac{\partial I'}{\partial x'} \frac{\partial x'}{\partial m_k} + \frac{\partial I'}{\partial y'} \frac{\partial y'}{\partial m_k} \quad (6)$$

【0047】この式を、それぞれの未知パラメータにより実際に偏微分を行ったものを以下の式(7)乃至(14)に示す。

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_0} = \frac{x_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'} \quad (7)$$

【0049】

【数8】

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_1} = \frac{y_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'} \quad (8)$$

【0050】

【数9】

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_2} = \frac{1}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'} \quad (9)$$

【0051】

【数10】

* と、例えば、右端の参照カメラの画像（参照画像）は、図4(A)のようになる。

【0041】このとき、参照画像に対して所定の射影変換を施し、これらの画像間の輝度の誤差が最初となるような射影変換行列 H を算出する。このような射影変換行列 H を求めることにより、基準画像の任意の点に対応する対応点を参照画像上から検索することが可能となる。なお、本実施の形態においては、変換後の参照画像と、基準画像とが正確に一致する射影変換行列 H を求める方法（画像合わせ込み方法）としては、Levenberg-Marquardt最小化法（以下、L-M法と略記する）を用いている。以下にその詳細について説明する。

【0042】基準画像を I 、参照画像を I' とし、基準画像 I 上の座標 x, y における第 i 番目の画素を $I(x_i, y_i)$ 、また、参照画像 I' 上の座標 x', y' における第 i 番目の画素を $I'(x'_i, y'_i)$ とする。このとき、第 i 番目の画素の輝度誤差を e_i とすると、画像全体の輝度誤差 E は、次の式(5)により表すことができる。

【0043】

【数5】

※は8であるから、ここでは $m_8 = 1$ とする。すると、第 k 番目のパラメータ m_k による e_i の偏微分は、以下の式により表すことができる。

【0046】

【数6】

★【0048】

【数7】

★

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_3} = \frac{x_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial y'}$$

【0052】

【数11】

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_4} = \frac{y_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial y'} \quad (11)$$

【0053】

【数12】

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_5} = \frac{1}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial y'} \quad (12)$$

【0054】

【数13】

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_6} = -\frac{x_i}{D_i} (x'_i \frac{\partial I'}{\partial x'} + y'_i \frac{\partial I'}{\partial y'}) \quad (13)$$

【0055】

【数14】

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_7} = -\frac{y_i}{D_i} (x'_i \frac{\partial I'}{\partial x'} + y'_i \frac{\partial I'}{\partial y'}) \quad (14)$$

【0056】但し、 $D_i = m_6 \cdot x_i + m_7 \cdot y_i + 1$ において、 $(I' / x', I' / y')$ は、 I' の (x', y') における輝度値の勾配 (Gradient) である。これらの偏微分から、L-M法では近似Hessian Matrix A (以下、行列Aと略記する) と、Weighted gra *

* dient vector b (以下、ベクトルbと略記する) を計算する。なお、行列Aとベクトルbのそれぞれの構成要素は、次のように表すことができる。

【0057】

【数15】

$$a_{kl} = \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_k} \frac{\partial e_i}{\partial m_l} \quad (15)$$

【0058】

【数16】

$$b_k = -2 \sum_i e_i \frac{\partial e_i}{\partial m_k} \quad (16)$$

【0059】そして、画像全体の輝度誤差Eの値が減少したか否かに応じて、行列Aとベクトルbを用いた次式に示す Δm だけ未知パラメータmの値を更新する。 ※

$$\Delta m = (A + \lambda I)^{-1} b$$

【0061】ここで、 λ は、time-varying stabilization parameterである。

【0062】以上のような処理を誤差の変化がなくなる (実際には、誤差の減少分が所定の閾値以下になる) まですり返すことにより、射影変換行列Hの未知のパラメータ m_6 乃至 m_7 を求めることができる。

【0063】以上のようにして求めた射影変換行列Hを用いて、次に、エピポーラインを求める。

【0064】図5は、エピポーラインを求める方法を説明する図である。射影変換行列 H_0 が決まると、距離 Z_0 における基準画像上の点 n_0 に対応する参照画像上の点 n_{10} が決定できる。点 n_{10} は任意であるので、その結果、基準画像上の全ての点に対応する対応点を算出することができる。

【0065】同様にして、観察する平面を距離 Z_1 の位置に、距離 Z_0 の位置に置かれていた平面と平行になるように置いた場合の射影変換行列 H_1 を求める。

【0066】求めた射影変換行列 H_0 、 H_1 により、基準画像上の観察点 n_0 は、対象が距離 Z_0 または距離 Z_1 にある場合には、参照画像上の n_{10} 、 n_{11} にそれぞれ射影されることが分かる。従って、参照画像上の2点 n_{10} 、 n_{11} を結んだ線分がエピポーラインとなる。

※ 【0060】

【数17】

(17)

★ 【0067】ところで、実際の対象物の距離を測定する

30 場合においては、基準画像上の所定の点に対応する点 (対応点) をエピポーライン上で探索し、検出された対応点の位置 (視差) を、3次元空間における実際の距離に変換する必要がある。しかし、本実施の形態においては射影変換を用いているので、視差と実際の距離とは正比例しない。従って、この視差を距離に変換する変換式を求めるために、本実施の形態においては、距離 Z_0 、 Z_1 とは異なる距離 Z_2 に前述の平面を再度設置して n_{12} を求め、これら n_{10} 、 n_{11} 、 n_{12} から複比を用いて視差と距離の変換を行うようにしている。

40 【0068】以下では、複比について説明する。

【0069】図6は、複比を説明するための図である。この図に示すように、3次元空間内の線分Lが画像面上の線分L'に投影されているとする。このとき、線分L上の4点A、B、C、Dは、それぞれ、線分L'上のA'、B'、C'、D'に投影されているものとする。また、これらの線分L、L'を観察する視点Oと、線分L、L'とは同一平面上に配置されている。換言すると、点A、B、C、D、A'、B'、C'、D'と視点Oとは、同一の平面上に配置されている。これらの平面上における位置関係を書き直すと、図7のようになる。

★ 50

11

【0070】この図において、 $OA=a$ 、 $OB=b$ 、 $OC=c$ 、 $OD=d$ とおき、更に $\angle AOC=\alpha$ 、 $\angle BOC=\beta$ 、 $\angle AOD=\gamma$ 、 $\angle BOD=\delta$ とおくと、これらの *

$$AC/BC = \Delta OAC / \Delta OBC$$

【0072】

$$\Delta OAC = \frac{1}{2} ac \sin \alpha$$

【0073】

$$\Delta OBC = \frac{1}{2} bc \sin \beta$$

【0074】従って、式(19)と式(20)を式(18)に代入すると、以下の式を得る。 ※

$$AC/BC = a \sin \alpha / b \sin \beta$$

【0076】同様の計算をADとBDに対して施すと、以下の式を得る。 ☆

$$AD/BD = a \sin \gamma / b \sin \delta$$

【0078】式(21)を式(22)により除算することにより、以下の式(23)を得る。 ☆

$$\frac{AC}{BC} / \frac{AD}{BD} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} / \frac{\sin \gamma}{\sin \delta}$$

【0080】以上の式(18)乃至式(23)の計算と同様の計算を、 $A'C'$ 、 $B'C'$ 、 $A'D'$ 、 $B'D'$ に対して行うことにより、以下の式を得る。 ◇

$$\frac{A'C'}{B'C'} / \frac{A'D'}{B'D'} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} / \frac{\sin \gamma}{\sin \delta}$$

【0082】これら、式(23)と式(24)とから、以下の式を得る。

$$\frac{AC \cdot BD}{BC \cdot AD} = \frac{A'C' \cdot B'D'}{B'C' \cdot A'D'}$$

【0084】以上の複比を用いて、以下のような手順により、所望の対象点の3次元空間内における基準点からの距離を求める。

【0085】いま、図7において、線分Lを基準画像上の点 n_1 の視線に対応させ、また、線分L'をエピソードラインに対応させるとする。更に、点A、B、Dをそれぞれ距離 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 の3次元空間内の点に対応させ、また、点 A' 、 B' 、 D' を、射影変換行列 H_0 、 H_1 、 H_2 でそれぞれ求めることができる参照画像上の点

$$AC = Z_0 - Z_1$$

$$BC = Z_0 - Z_2$$

$$AD = Z_1 - Z_0$$

$$BD = Z_1 - Z_2$$

$$A'C' = n_{r3} - n_{r0}$$

$$B'C' = n_{r3} - n_{r2}$$

$$A'D' = n_{r1} - n_{r0}$$

$$B'D' = n_{r1} - n_{r2}$$

【0088】従って、式(26)を式(25)に代入することにより、基準点から対象点Cまでの距離 Z_0 を求めることができる。ところで、実際の距離は線分Lに沿

12

* 間の関係は、以下の式により表すことができる。

【0071】

【数18】

(18)

【数19】

(19)

【数20】

(20)

※【0075】

【数21】

(21)

☆【0077】

【数22】

(22)

☆【0079】

【数23】

(23)

◇【0081】

【数24】

(24)

【0083】

【数25】

(25)

n_{r0} 、 n_{r1} 、 n_{r2} に対応させるとする。これらの関係を改めて作図しなおしたのが図8である。

【0086】いま、距離 Z_0 だけ離れた位置に、対象点Cが配置されているとする。このとき、エピソードラインL'上を探索して得られた対応点が n_{r3} であるとする。式(25)の各線分の値は、以下ようになる。

【0087】

【数26】

(26)

ったものではないが、別の線分に正射影されているので、各距離の比は正比例の関係となるので大きな問題は生じない。例えば、図8においては、ADは光軸に正射

影したA、Dの長さである。

【0089】また、以上の例では、AD間の内挿の場合（対象点CがADの内側に存在する場合）について説明したが、外挿の場合（対象点がADの外側に存在する場合）においても可能であることはいうまでもない。

【0090】次に、以上の説明を踏まえたうえで、図1に示す本発明の実施の形態の動作について図9に示すフローチャートを参照して説明する。

【0091】この処理は、図1に示す実施の形態において実行される処理の一例を説明するフローチャートである。この処理が実行されると、ステップS1において、CPU10aは、距離Z₀における基準画像と参照画像を基準カメラ30と参照カメラ31からそれぞれ入力する。即ち、CPU10aは、図8に示す距離Z₀の位置に、基準カメラ30の光軸と垂直となるように配置された平面を、基準カメラ30と参照カメラ31により撮影させ、得られた画像をIF10dを介して読み込む。

【0092】ステップS2では、前述した式（5）乃至（17）を用いて、得られた基準カメラ30の画像と、参照カメラ31の画像を処理し、射影変換行列H₀を求める。なお、この処理の詳細については、図10を参照して後述する。

【0093】ステップS3では、CPU10aは、図8に示す距離Z₁の位置に、基準カメラ30の光軸と垂直となるように配置された平面を、基準カメラ30と参照カメラ31により撮影させ、得られた画像をIF10dを介して読み込む。

【0094】ステップS4では、射影変換行列H₁が算出される。そして、ステップS5に進む。

【0095】ステップS5では、CPU10aは、図8に示す距離Z₂の位置に、基準カメラ30の光軸と垂直となるように配置された平面を、基準カメラ30と参照カメラ31により撮影させ、得られた画像をIF10dを介して読み込む。

【0096】そして、ステップS6において、射影変換行列H₂を算出し、処理を終了する（エンド）。

【0097】次に、図10を参照して、ステップS2、S4、S6に示す射影変換行列を求める処理の詳細について説明する。

【0098】この処理が実行（コール）されると、CPU10aは、ステップS19において、変数tを値0に初期設定する。そして、ステップS20において、変数jと変数kを値0にそれぞれ初期設定し、また、変数λを値1に初期設定する。そして、ステップS21に進む。

【0099】ステップS21では、CPU10aは、変数iと変数Eを値0にそれぞれ初期設定する。そして、ステップS22に進む。

【0100】ステップS22では、CPU10aは、第i番目の画素の輝度誤差e_iを算出する。即ち、式

（5）に示すように、参照画像I'の第i番目の画素の値（画素値）から、基準画像Iの第i番目の画素値を減算してe_iを求める。

【0101】続くステップS23では、CPU10aは、参照画像I'をxとyにより偏微分した結果である（I' / x）と（I' / y）をそれぞれ求める。そして、ステップS24に進む。

【0102】ステップS24では、CPU10aは（e_i / m_k）（k=0, 1, ..., 7）を算出する。即ち、CPU10aは、ステップS24において算出した（I' / x）と（I' / y）を、式（7）乃至式（14）に代入することにより、e_i / m_kを算出する。

【0103】続くステップS25では、CPU10aは、マトリクスAとベクトルbとをそれぞれ計算する。即ち、CPU10aは、式（15）と式（16）に応じて、式（7）乃至式（14）の結果を累積加算する。そして、ステップS26に進む。

【0104】ステップS26では、CPU10aは、変数Eに対して、第i番目の画素の輝度誤差を2乗した値を加算する。その結果、変数Eには各画素の輝度誤差を2乗した値が累積加算されていくことになるので、最終的には変数Eには全画素の輝度誤差の2乗和が格納されることになる。

【0105】ステップS27では、CPU10aは、変数iの値を1だけインクリメントし、ステップS28に進む。

【0106】ステップS28では、CPU10aは、変数iの値が画素の総数である640×480と等しくなったか否かを判定する。その結果、変数iの値が640×480と等しくない（NO）と判定した場合には、ステップS22に戻り、前述の場合と同様の処理を繰り返す。また、変数iの値が640×480と等しい（YES）と判定した場合にはステップS29に進む。

【0107】ステップS29では、CPU10aは、行列Aとベクトルbを含む方程式（A+λI）Δm=bを解き、Δmを求める。ここで、λはtime-varying stabilizing parameterである。そして、ステップS30に進み、現在のm⁽ⁱ⁾の値に対して、Δmを加算して、新たなm⁽ⁱ⁺¹⁾を生成し、ステップS31に進む。

【0108】ステップS31では、CPU10aは、ステップS30において得られたm⁽ⁱ⁺¹⁾を用いて、画像全体の輝度誤差E'を算出する。そして、ステップS32に進み、E'がEよりも小さいか否かを判定する。即ち、新たなm⁽ⁱ⁺¹⁾により生成された画素全体の輝度誤差E'が、前回の画素全体の輝度誤差Eよりも小さいか否かを判定する。その結果、E'がEよりも小さい（YES）と判定した場合には、ステップS36に進み、変数tの値を1だけインクリメントし、ステップS20に戻り、前述の場合と同様の処理を繰り返す。また、E'

がE以上である（NO）と判定した場合にはステップS 33に進む。

【0109】ステップS 33では、CPU10aは、変数jの値を1だけインクリメントし、ステップS 34に進む。ステップS 34では、CPU10aは、変数jの値が30であるか否かを判定する。その結果、変数jの値が30である（YES）と判定した場合には元の処理に復帰する。また、変数jの値が30ではない（NO）と判定した場合には、ステップS 35に進む。

【0110】ステップS 35では、CPU10aは、変数λの値を10倍して、ステップS 29に戻り、前述の場合と同様の処理を繰り返すことになる。

【0111】以上の処理により、射影変換行列Hを求めることができる。

【0112】なお、以上の実施の形態においては、画像全体に対して処理を行う場合について説明したが、例えば、画像の一部の領域のみに対して前述の処理を行うことも可能である。また、変換の結果、対象となるテクスチャが画面からはみ出した場合には、処理の繰り返し回数が全画素数よりも少ない回数に設定される。

【0113】次に、このようにして得られた射影変換行列H₀乃至H₂を用いて、対象点までの距離を求める処理について図11を参照して以下に説明する。

【0114】図11は、図8に示す対象点Cまでの距離を測定するための処理の一例を説明するフローチャートである。

【0115】この処理が実行されると、ステップS 50において、CPU10aは、基準画像上の対象点n（画像上の対象点C）を入力する。

【0116】続くステップS 51では、CPU10aは、図9の処理において求めた射影変換行列H₀乃至H₂を用いて、参照画像上の対応点n₀乃至n₂を算出する。そして、ステップS 52に進む。

【0117】ステップS 52では、CPU10aは、ステップS 51において求めたn₀とn₁とを直線で結ぶことにより、エピポーララインを生成する。即ち、CPU10aは、エピポーララインが通過する画素のアドレス値を生成し、RAM10cに格納する。

【0118】ステップS 53では、CPU10aは、基準カメラ30から出力される画像をRAM10cに一旦格納し、格納されている画像の点n₀の近傍の画素群を抽出する。

【0119】続くステップS 54では、CPU10aは、抽出した画素群をテンプレートとし、マッチ度の高い点n₀をエピポーララインに沿って検索する。即ち、CPU10aは、ステップS 52において生成され、RAM10cに格納されているエピポーララインに対応するアドレスに応じて、参照カメラ31から出力される画像から画素群を読み出し、テンプレートと照合する。そして、最も近い（誤差の少ない）画素群が存在する領

域の中心を点n₀とする。

【0120】ステップS 55では、CPU10aは、ステップS 54で求めたn₀と、n₀乃至n₂、および、Z₀乃至Z₂から、複比を用いて、n₀に対応する距離Z₀を算出する。即ち、CPU10aは、式(25)および式(26)に対して、以上の処理により得られたn₀と、n₀乃至n₂、および、Z₀乃至Z₂を代入し、点n₀に対応する距離Z₀を算出する。そして、処理を終了する（エンド）。

10 【0121】このような処理により、対象点Cまでの距離Z₀を算出することができる。

【0122】以上の実施の形態によれば、特殊な校正パターンなどを必要としないため簡便な装置によりキャリブレーションを行うことが可能となる。また、画像合わせ込みを行うため、各カメラの光軸が任意の方向を向いている場合や、各カメラの間に輻輳がある場合においても、距離の計測が可能となる。

20 【0123】なお、明細書中において、伝送媒体は、FD、CD-ROMなどの情報記録媒体の他、インターネット、デジタル衛星などのネットワーク伝送媒体も含まれる。

【0124】

【発明の効果】請求項1に記載の画像処理装置、請求項3に記載の画像処理方法、および、請求項4に記載の伝送媒体によれば、第1の画像処理装置から出力される基準画像を入力し、第2の画像処理装置から出力される参照画像を入力し、入力された基準画像内の所定の点に対応する視線上に存在する第1乃至第3のポイントまでのそれぞれの距離が入力され、入力された参照画像上において、第1乃至第3のポイントに対応する第1乃至第3の対応点を算出し、視線上に存在する対象点に対応する参照画像上の第4の対応点を算出し、第1乃至第4の対応点と、第1乃至第3のポイントまでの距離を元に、複比により対象点までの距離を算出するようにしたので、正確な測定を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施の形態の構成例を示すブロック図である。

40 【図2】基準カメラと参照カメラの画像面に平面上の対象点Pが観察される様子を示す図である。

【図3】基準カメラ、参照カメラ、および、平面の配置例を示す図である。

【図4】参照カメラの画像が射影変換され、基準カメラの画像と重ね合わされた様子を示す図である。

【図5】対象物が距離Z₀とZ₁に存在する場合に参照カメラの画像面に観察される観察点n₀とn₁を示す図である。

【図6】線分Lが画像面に投影されている場合の様子を説明する図である。

50 【図7】図6に示す線分L、線分L'、および、視点O

17

を 1 つの平面上に表した図である。

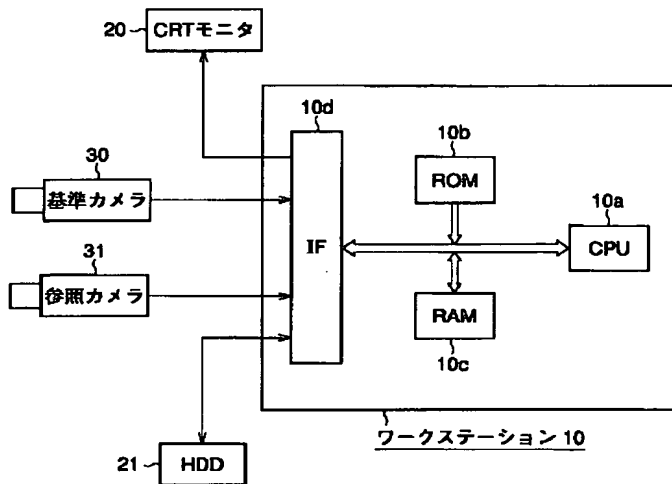
【図 8】図 7 に示す図を本実施の形態に対応させて書き直した場合の図である。

【図 9】射影変換行列 H 乃至 H_2 を求める処理の一例を説明するフローチャートである。

【図 10】図 8 に示すステップ S 2, 4, 6 の処理の詳細を説明するフローチャートである。

【図 11】対象点 C までの距離を算出する処理の一例を *

【図 1】



18

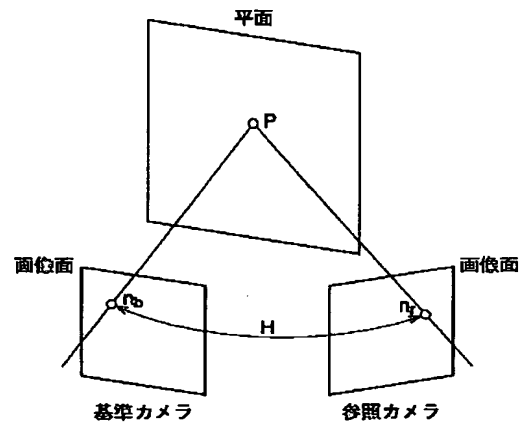
* 説明するフローチャートである。

【図 12】基準カメラと参照カメラの画像、対象点 P、および、エピポーララインの関係を示す図である。

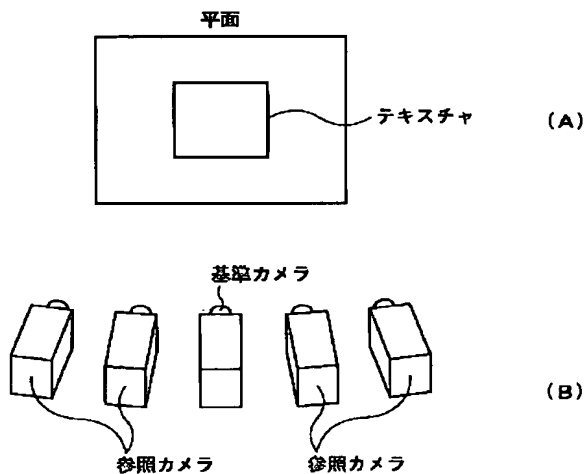
【符号の説明】

10a CPU (第 1 の算出手段、第 2 の算出手段、第 3 の算出手段), 10d IF (第 1 の入力手段、第 2 の入力手段、第 3 の入力手段)

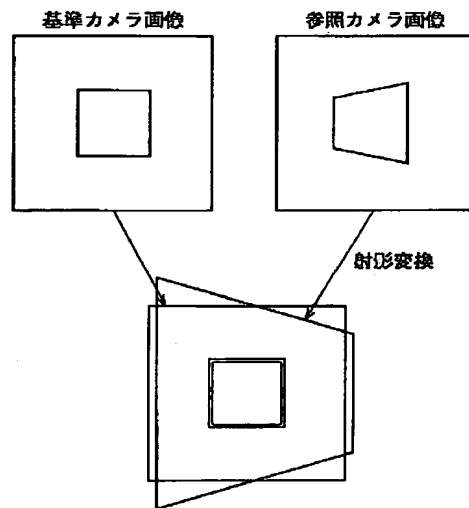
【図 2】



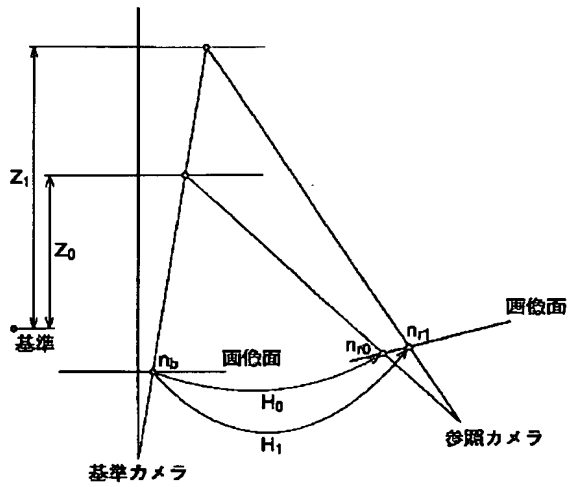
【図 3】



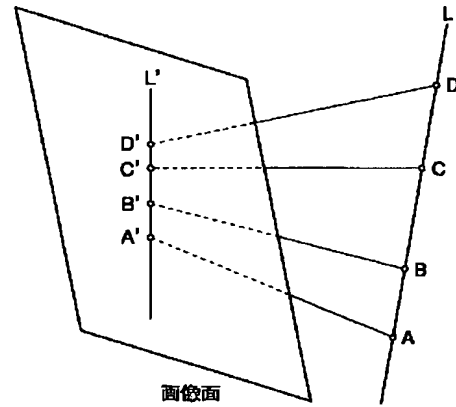
【図 4】



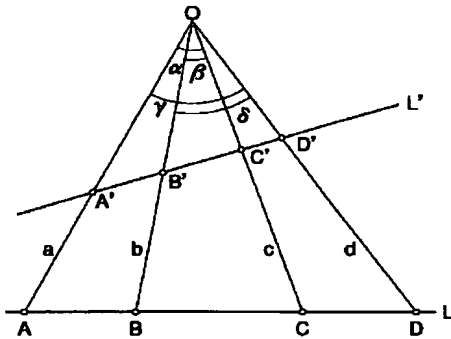
【図5】



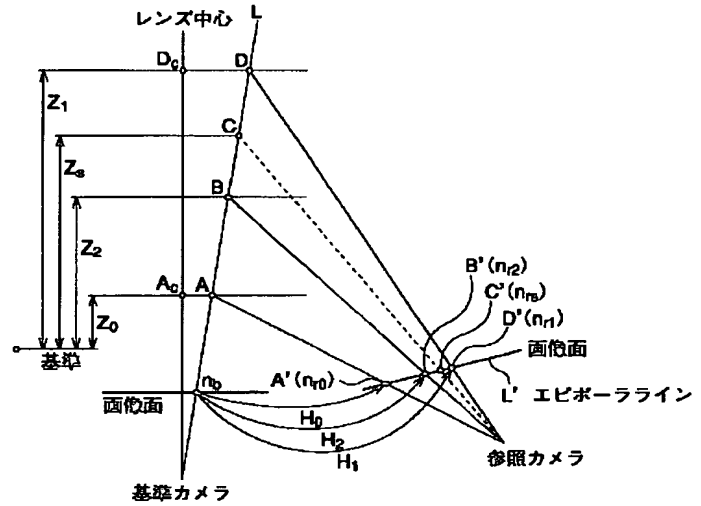
【図6】



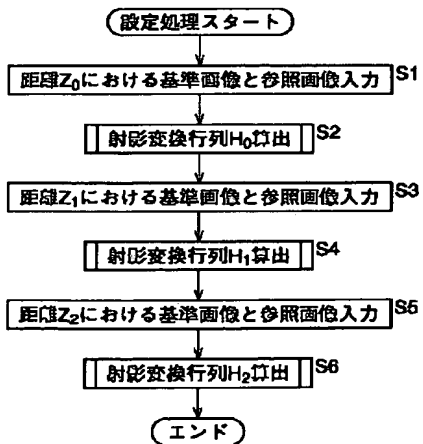
【図7】



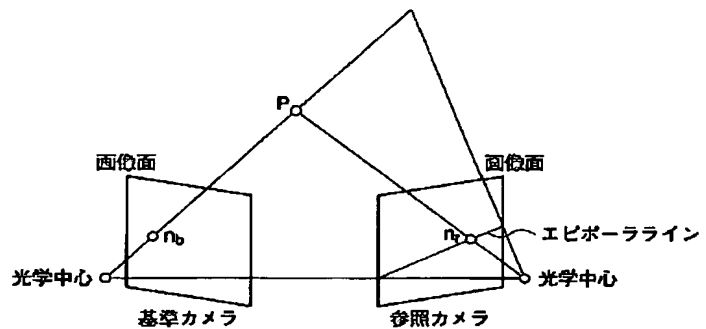
【図8】



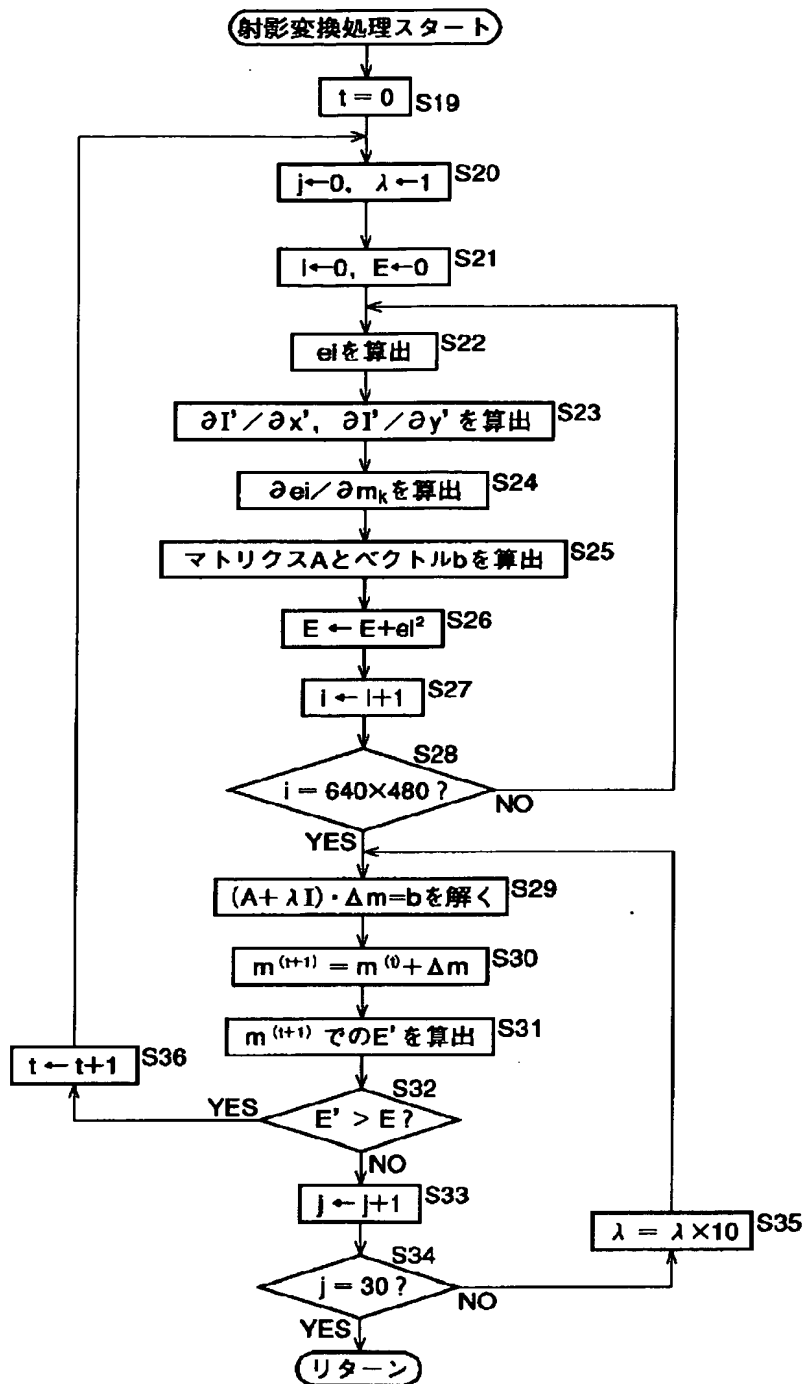
【図9】



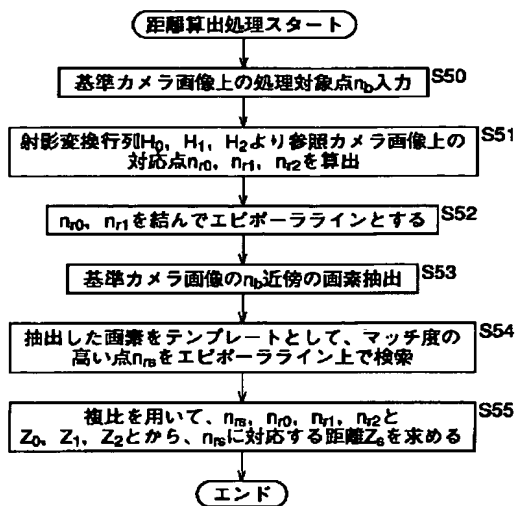
【図12】



【図 10】



【図 1 1】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.